INFLUENCE OF GAS PROTECTION IN THE HARDNESS, TENACITY, DUCTILITY AND PRODUCTIVITY OF JOINTS WELDED BY GMAW PROCESS

Carlos Naranjo-Guatemala, Carlos Quisilema

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
crnaranjo@espe.edu.ec

Received: June 2017. Accepted: November 2017

ABSTRACT

A welding process must have the ability to generate welded joints that meet quality standards but also, to perform them in a fast, efficient and profitable way; Which means in a productive process. In solid wire welding with gas protection GMAW a vital element is the shielding gas and although it is recognized that the gas represents only a small percentage in the total cost of production, its correct choice can produce significant savings due to an increase In productivity, quality and a reduction of costs, through obtaining well-formed cords and free of defects.

In the present work the influence of the gases of protection CO2, argon-CO2 and argon mixture, in the mechanical properties, and the productivity in the elaboration of welded joints of carbon steel by the process of welding GMAW.

Test coupons were made of ASTM A36 steel and welded in partial penetration butt joints welded with ER70S-6 wire according the instructions of a WPS. Nine test coupons were welded to determine the geometric configuration of the weld beads; Mechanical properties were established by tensile, face bending, root bending, CVN and hardness testing.

Keywords: Structural Steel, Shielding gas, GMAW Process, mechanical proprieties, welding

INFLUENCIA DEL GAS DE PROTECCIÓN EN LA DUREZA, TENACIDAD, DUCTILIDAD Y PRODUCTIVIDAD DE JUNTAS SOLDADAS CON PROCESO GMAW

RESUMEN

Un proceso de soldadura debe tener la capacidad de generar uniones soldadas que alcancen las propiedades mecánicas requeridas y además realizarlas de una manera rápida, eficiente y rentable. En el proceso de soldadura

con alambre sólido y protección gaseosa GMAW un elemento vital es el gas de protección. Es reconocido que el gas representa sólo un pequeño porcentaje en el costo total de producción, sin embargo, su correcta elección puede producir ahorros significativos debido a un aumento en la productividad y calidad a través de obtener cordones bien conformados y libres de defectos.

El presente trabajo analiza la influencia de los gases de protección CO_2, mezcla argón-CO_2 y argón, en las propiedades mecánicas, estructura metalográfica, configuración geométrica y la productividad en la elaboración de juntas soldadas de acero al carbono mediante el proceso GMAW.

Los cupones de prueba fueron de acero ASTM A36 en juntas a tope de penetración parcial soldadas con alambre ER70S-6 siguiendo las instrucciones de un WPS. En total se soldaron 9 cupones de prueba para determinar la configuración geométrica de los cordones de soldadura; las propiedades mecánicas se establecieron mediante los respectivos ensayos de tracción, doblado de cara y de raíz, impacto y dureza.

Palabras claves: Acero estructural, Gas de protección, Proceso GMAW, Propiedades mecánicas, Soldadura.

1. INTRODUCCIÓN

En la fabricación de estructuras soldadas de acero, el proceso de soldadura con protección gaseosa y electrodo consumible (*Gas Metal Arc Welding*-GMAW) es muy utilizado dado su mayor productividad, flexibilidad y posibilidad de automatización [Romero, 2012]. Los usuarios de este proceso han establecido que el gas de protección no es un simple componente en la operación de soldadura, sino que tiene una gran influencia en las características de las mismas. Su correcta selección puede significar mayor productividad, calidad y una importante disminución de costos, a través de obtener juntas soldadas de propiedades mecánicas apropiadas con cordones bien conformados y libres de defectos [Lozano, 2000].

Los gases de protección para soldar acero estructural con el proceso GMAW son el Argón (Ar), el Dióxido de Carbono (CO2) y una mezcla de Argón-dióxido de Carbono [ASM Metals Handbook Vol. 6, 1998]. Cada tipo de gas proporciona características únicas al proceso de soldadura las que se pueden evidenciar en la geometría del cordón, las propiedades mecánicas de la soldadura y en la productividad del proceso.

En este trabajo se analiza la influencia de los gases de protección, CO_2, Ar y mezcla Ar-CO_2 en las propiedades mecánicas, estructura metalográfica, configuración geométrica de los cordones de soldadura depositados y la productividad, obtenidas en el proceso GMAW.

De entre los aceros estructurales, en nuestro país, el más utilizado en estructuras metálicas es el acero ASTM A36 debido a sus propiedades, características, su disponibilidad y diversidad en las presentaciones. Su alta soldabilidad y su desempeño predecible debido a su comportamiento lineal y

elástico hasta llegar a la fluencia, le brinda una ventaja competitiva en las distintas aplicaciones [Montoya, 2001]

Este artículo presenta en la sección 2 los detalles del método y los estándares utilizados. En la sección 3 se detallan los resultados obtenidos seguidamente en la sección 4 se realiza el análisis y discusión de los resultados para finalmente en la sección 5 presentar las conclusiones más relevantes.

2. METODO

El carbono equivalente de los aceros es una forma de establecer la tendencia que estos tienen a sufrir un endurecimiento o fisurarse en la soldadura. Para determinar el carbono equivalente del acero ASTM A36 se utilizó la expresión sugerida en la AWS D1.1 [AWS D1.1, 2015] que arrojó un Carbono Equivalente Ce=0.316, que según el referido código le ubica al acero como de buena soldabilidad [Montoya, 2001]. Para soldar este acero con proceso GMAW se puede utilizar como gas de protección cualquiera de os gases siguientes: Argón puro (Ar), Dióxido de Carbono (CO_2) o una mezcla de Argón con Dióxido de Carbono (Ar-CO_2). Conforme las prácticas recomendadas de soldadura el flujo del gas debe estar entre 10 a 15 Litros [ASM Metals Handbook Vol. 6, 1998].

A fin de establecer como es la influencia del gas de protección en la resistencia última, la dureza, la tenacidad y la ductilidad de una junta soldada y además la variación de la productividad de esa ejecución se definió como variables principales del experimento al tipo y el flujo del gas. Todas las otras variables del proceso de soldadura GMAW se mantuvieron constantes. Para garantizar la ejecución de las juntas soldadas se desarrollaron especificaciones de procedimiento de soldadura WPS.

Se realizaron cupones de prueba en las que se realizaron las siguientes variaciones de las variables principales del experimento:

- Gas de protección: CO2, Argón-CO2 y Argón
- Flujo de gas: 8 lit/min; 12 lit/min y 16 lit/min

En la tabla I se muestra las variables de soldadura y la identificación de cada procedimiento de soldadura.

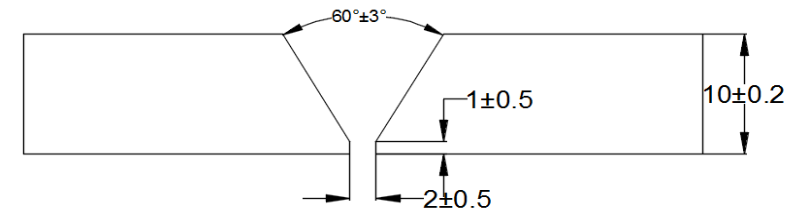


Figura 1 Geometría de la junta del cupón de prueba

En total se elaboraron 9 cupones de prueba con una junta en V de penetración completa como se muestra en la figura 1, de cada cupón se extrajeron los especímenes de prueba para realizar: 4 ensayos de doblado para determinar la ductilidad, 3 ensayos Charpy con ranura en “V” (CVN) para medir de tenacidad y

una probeta para medir de la dureza. Las dimensiones finales del cupón de prueba fueron 525 x 360 x 10 mm conforme AWS D1.1 tabla 4.2 para espesores de 10 mm.

Tabla 1 Variables del proceso e identificación de los cupones

Procedimiento WPS	**A**	**B**	C
Amperaje	120 A	120 A	120 A
Voltaje	22	22	22
Alambre	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6
Diámetro de alambre	1.2 mm	1.2 mm	1.2 mm
Polaridad	DCEP	DCEP	DCEP
Tipo de gas	CO_2	Ar- CO_2	Argón
Velocidad de soldeo	7,3 cm/min	7,3 cm/min	7,3 cm/min
Vel. alimentación alambre	540 cm/min	540 cm/min	540 cm/min
Índice de identificación	1	2	3
Flujo gas de protección	8 lit/min	12 lit/min	16 lit/min

La ejecución de la soldadura en los respectivos cupones se realizó de forma mecanizada utilizando equipo BUG- O GO FER III- WD conectado a una maquina soldadora Millermatic 300.

En la preparación de los cupones de prueba y la calibración del equipo de soldeo se utilizaron los siguientes instrumentos: Calibrador pie de rey digital MITUTOYO apreciación 0,01 mm; Pinza amperimétrica digital marca: Fluke; modelo: 337; Flujómetro para gases marca: LINDE, modelo: FM 300A, Galga de inspección de soldadura y un Cronometro digital.

Los especímenes para los ensayos mecánicos se extrajeron de los cupones de prueba conforme las directrices del Código AWS D1.1; Las dimensiones de las probetas y procedimiento de ejecución de los ensayos mecánicos se basaron en el estándar AWS B4.0 Métodos estándar para pruebas mecánicas de soldadura [1998].

El ensayo de doblado transversal se lo ejecuto del tipo de cara y de raíz conforme lo especifica el código AWS D1.1, estos ensayos se ejecutaron en una Máquina de ensayos universales, marca: AMSLER, modelo: FM-1033

Para la medición de la dureza de la junta soldada se realizó cinco indentaciones en la zona de la cara de la soldadura. Estas mediciones se realizaron en un Durómetro Digital marca: METKON, modelo: DUROLINE-X.

El ensayo de impacto se ejecutó con un conjunto de tres probetas por cada cupón soldado. El ensayo CVN se realizó en Péndulo de Impacto marca: AMSLER, modelo: 30HP 130.

El peso del material depositado se determinó por la diferencia de pesos de la junta antes y después de ser soldada; se utilizó una balanza marca TRANSCELL modelo PBSL, apreciación 1 gr. En tanto que el tiempo de ejecución

de cada cupón de prueba se lo midió con un cronómetro digital. Datos con los cuales se procede a realizar algunas relaciones de interés para la productividad.

3. RESULTADOS

3.1. Tiempo de Soldadura y peso del material depositado

Para establecer la productividad se ejecutó una junta PJP en “V”de 3 mm de profundidad. Se midió el tiempo empleado en cada uno de los cupones de prueba en la longitud de 525 mm además del peso del material depositado. Estos valores se detallan en la tabla 2.

Tabla 2 Tiempo y peso de material depositado en la junta soldada

	Procedimientos de Soldadura								
	A1	**A2**	**A3**	**B1**	**B2**	**B3**	**C1**	**C2**	**C3**
Tiempo (min)	7,13	7,10	7,18	7,20	6,97	7,0	7,08	7,02	7,13
Material Depositado (gr)	309	366	386	334	373	401	346	360	395

3.2. Resultados del ensayo de dureza

El promedio de la dureza brinell medida en cada uno de los especímenes de los cupones de prueba, para cada tipo y flujo de gas se muestra en la columna de Dureza HB, en tanto que el promedio de los valores para cada gas se detalla en la columna Prom. de la tabla III.

Tabla 3 Dureza de las juntas soldadas

Cupón de prueba	**Dureza HB**	**Prom.**
A1	197	180
A2	186	
A3	157	
B1	187	171,3
B2	176	
B3	151	
C1	176	169,6
C2	173	
C3	160	

3.3. Resultados del ensayo Charpy CVN

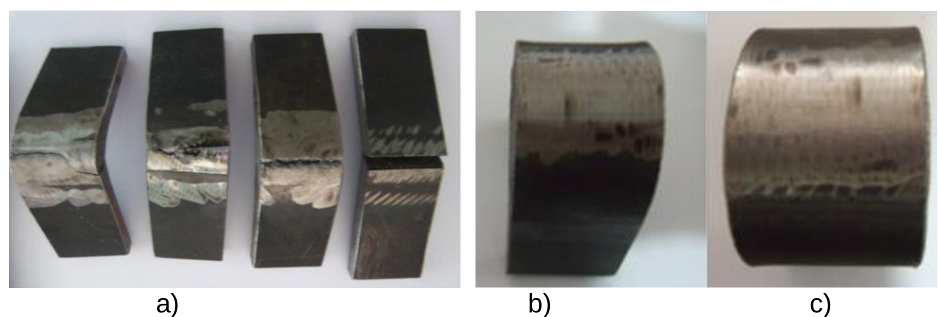
La tabla IV presenta los promedios de los tres ensayos de dureza que se realizaron para cada cupón de prueba, así como el promedio de dureza alcanzada por la junta al ser soldada con cada tipo de gas de protección.

Tabla 4 Energía absorbida por las probetas sometidas a ensayo CVN

Cupón de Prueba	(J)	Prom
A1	12.4	24.8
A2	23.5	
A3	38.5	
B1	17.6	26.3
B2	25.5	
B3	35.9	
C1	5.2	19.25
C2	12.4	
C3	26.1	

3.4. Resultados del ensayo de doblado

Las probetas sometidas a soldadura con gas de protección argón en el ensayo de doblado de cara y de raíz presentaron inconvenientes de falta de fusión; en tanto que, las probetas sometidas a soldadura con gas de protección CO2, y la mezcla Argón – CO2 el doblado no presenta ninguna observación como se aprecia en la figura 2



a) b) c)

Figura 2 a) Defectos presentes en el ensayo de doblado en el cupón con gas de protección Argón con un flujo de 8 lit/min b) probeta doblada del cupón con gas de protección CO_2 a 12 lit/min c) cupón con gas de protección mezcla CO_2 – Argón a 12 lit/min

4. DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los resultados del ensayo de dureza

Los resultados determinan que, en presencia de un mayor flujo de gas de protección en los tres experimentos, la dureza disminuye gradualmente como se observa en la figura 3.

La mayor dureza se presenta en los cupones sometidos a soldadura con gas de protección CO2 con valor máximo de 197 HB y un promedio de 180 HB, además presenta una disminución gradual máxima del 20% aumentar el 100% de gas empleado respecto a la primera aplicación correspondiente a 8 lit/min.

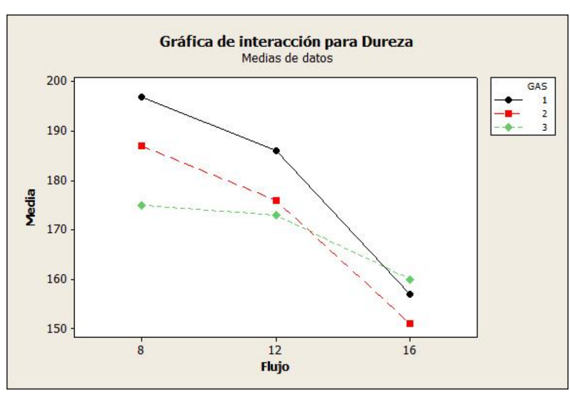


Figura 3 Variación de la dureza con el flujo de gas 1) CO_2; 2) Mezcla Ar-CO_2; 3) Argón.

4.2. Análisis de los resultados del ensayo de tenacidad

La tenacidad de las juntas soldadas presenta una gran variación cuando se varía el flujo de gas de protección, aumentando su valor cuando se suelda en presencia de mayor flujo. Se obtuvo un incremento el del 67.79% en el caso particular del gas de protección CO2. Las juntas soldadas con mezcla Argón-CO2 presenta el mismo comportamiento, su aumento en la tenacidad es del 49,02 %, los incrementos del valor de tenacidad se presentan por el aumento del 100% de gas empleado respecto a la primera aplicación correspondiente a 8 lit/min. Finalmente, la junta soldada que presenta menor tenacidad fue la soldada con gas argón cuyo valor máximo es de 26 Joules. Esto se observa en la figura 4.

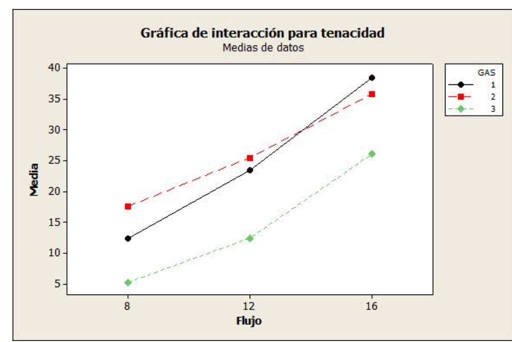


Figura 4 Variación de la absorción de energía en el ensayo CVN con el flujo de gas 1) CO_2; 2) Mezcla Ar-CO_2; 3) Argón.

Se presenta una mayor tenacidad con un bajo valor de dureza debido a que el material se vuelve dúctil, y por ende absorbe mayor cantidad de energía.

4.3. Análisis de los resultados del ensayo de doblado

Las probetas sometidas a soldadura con gas de protección argón presentaron inconvenientes de falta de fusión como se aprecia en la figura 2a. La

falta de fusión en estas probetas mostraría que el gas Argón es incapaz de dar protección a la junta soldada por su reducido flujo.

En términos generales no se establece una diferencia significativa en las propiedades de ductilidad por efecto del tipo de gas de protección y del flujo utilizado.

4.4. Análisis de la productividad.

Para el análisis de productividad se utilizó los costos de los insumos utilizados en la soldadura que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Costo unitario de los insumos directos utilizados

Ítem	Producto	Unidad	Precio
1	Alambre ER70S6	Kg	1,73
2	Gas CO_2	m^3	6,10
3	Gas Mezcla CO_2- Argón	m^3	8,80
4	Gas Argón	m^3	13,25
5	Soldadora	hora	10,0
7	Mano de obra	hora	10,0

El costo unitario de ejecutar la junta PJP variando el gas de protección y el flujo de gas utilizado se muestra en la tabla 6. El costo aumenta a medida que se incrementa el flujo de gas de protección, por otro lado, la soldadura con gas CO_2 es la que menor costo presenta y el de mayor costo se tiene la soldadura con gas Argón. Considerando sólo los insumos incluidos en el análisis de este proyecto, en promedio se ha establecido que el costo de soldar con argón es un 17% mayor que al hacerlo con CO_2.

Tabla 6 Costo de los insumos directos para producir la soldadura en el cupón de prueba de 525 mm de longitud

	WPS								
RUBRO	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Soldadora ($)	1,19	1,18	1,2	1,2	1,16	1,17	1,18	1,17	1,19
Alambre ($)	0,53	0,63	0,67	0,58	0,65	0,69	0,6	0,62	0,68
Mano de obra	1,21	1,21	1,22	1,22	1,18	1,19	1,2	1,19	1,21
gas protección	0,35	0,52	0,7	0,51	0,74	0,99	0,75	1,12	1,51
Costo unitario por cupón de 525 mm	3,28	3,54	3,79	3,51	3,73	4,04	3,73	4,1	4,59
Promedio ($)	3,54			3,76			4,14		

En la tabla 7 se presenta los valores de tasa de depósito medidos en los distintos ensayos, se ha encontrado que a medida que se incrementa el flujo de gas de protección se incrementa la tasa de deposición, teniéndose un incremento promedio de alrededor del 19% al soldar con 16 lpm que cuando se suelda con 8 lpm. Se ha encontrado que con gas de protección Argón-CO_2 se tiene mayor tasa

de deposición que con los otros dos gases. Siendo un 7,5 % mayor que la que se tiene con gas CO_2 que presenta la menor tasa de deposición.

Tabla 7 Tasa de deposición de material variando la tasa de deposición y el tipo de gas de protección.

	Tasa de deposición gr/min			
GAS	**8 lpm**	**12 lpm**	**16 lpm**	**Prom. Gas**
CO2	43,3	51,5	53,8	49,5
Argón - CO2	47,8	53,5	57,3	53,2
Argón	48,9	51,3	55,4	51,9
Prom. Tasa	46,67	52,1	55,5	

En tema costos el proceso ideal son los cupones sometidos a soldadura con gas de protección mezcla argón – CO2 con una concentración 80% - 20% respectivamente, se aumenta la producción y es económicamente viable

5. CONCLUSIONES

El análisis de las propiedades mecánicas de las juntas soldadas con los tres tipos de gases de protección: argón, mezcla argón - CO2, y CO2 muestran una influencia fuerte por el flujo de gas utilizado. En las propiedades mecánicas el valor obtenido en los distintos ensayos presenta una modificación en presencia del aumento del flujo de gas protección, siendo estos incrementos graduales y correspondientes al 50 %, y 100% respecto al primer flujo de 8 lit/min.

Al aumentar el flujo de gas se obtiene una mayor tasa de deposición de material, esto incrementa la producción del proceso permitiendo obtener velocidades más altas de soldeo, ejecutando una misma junta de similar configuración en un menor tiempo. La mezcla Argón-CO_2 permite soldar a una mayor tasa de deposición.

En un análisis global un aumento de la producción no garantiza un aumento en la productividad debido a los altos del gas de protección

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Linde del Ecuador, productora de gases y consumibles para soldadura marca AGA, por su apoyo con los consumibles necesarios para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

1. Lozano, J., Moreda, P., Llorente, C., Bilmes, P., (2000) "C*aracterísticas de fusión de soldaduras GMAW de aceros inoxidables austeniticos"* Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, 171-178.

2. Montoya, L., Osorio, K., (2001). "E*studio de la soldabilidad de uniones de acero estructural ASTM A-36 con acero inoxidable SAE-AISI 304*", UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
3. Romero, S., (2012) "*Influencia del modo de transferencia por arco pulsado en el proceso de soldadura GMAW con alambre compuesto con núcleo metálico sobre la soldabilidad del acero ASTM* A*131 grado AH32* " Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica Bogotá, Colombia.
4. ASM Metals Handbook: 1998 - Vol 06 Welding, brazing and soldering.
5. AWS D1.1/D1.1M:2015 "Structural Welding Code—Steel" American National Standard.
6. AWS B4.0-1998 "Standard Methods for Mechanical Testing of Welds" American National Standard.